

PAT-NO: JP406193400A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06193400 A  
TITLE: AIR POLLUTION-DEGREE PREDICTING DEVICE  
PUBN-DATE: July 12, 1994

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
UEKUSA, HIDEAKI	
YAMAMOTO, MASANORI	
ARAGAI, KAZUTERU	
ONO, KAZUO	

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
FUJI FACOM CORP	N/A
FUJI ELECTRIC CO LTDN/A	

APPL-NO: JP04359579

APPL-DATE: December 25, 1992

INT-CL (IPC): E21F001/00 , F24F007/007 , G06F015/18 , G06F015/20

US-CL-CURRENT: 454/168

## ABSTRACT:

PURPOSE: To predict the degree of air pollution for an arbitrary time by learning the relationship with time of the degree of air pollution and a status value having an effect on the degree of air pollution by using a recurrent type network.

CONSTITUTION: The degree of air pollution in a tunnel and a status value having an effect on the degree of air pollution are measured in a value with time by using a VI-value measuring means 1, a passage-number measuring means 2 and an air-velocity measuring means 3, and stored previously in an experience storage means 4. A recurrent type network is used as a learning means 5, the value with time is learned to the learning network 6A until the error of a VI value is reduced sufficiently by employing the experience value, and the weight of the network is corrected. A predicting means 7 predicts the next VI value by using a predicting network 6B, to which learning is completed previously, and a VI predicting value 8 displaying the degree of air pollution is obtained.

COPYRIGHT: (C) 1994, JPO&Japio

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-193400

(43)公開日 平成 6 年(1994) 7 月12日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
E 2 1 F 1/00	A	7265-2D		
F 2 4 F 7/007	B	6803-3L		
G 0 6 F 15/18		8945-5L		
// G 0 6 F 15/20	F	8724-5L		

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-359579

(22)出願日 平成 4 年(1992)12月25日

(71)出願人 000237156

富士ファコム制御株式会社  
東京都日野市富士町 1 番地

(71)出願人 000005234

富士電機株式会社  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号

(72)発明者 植草 秀明

東京都日野市富士町 1 番地 富士ファコム  
制御株式会社内

(72)発明者 山本 正典

神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 森田 雄一

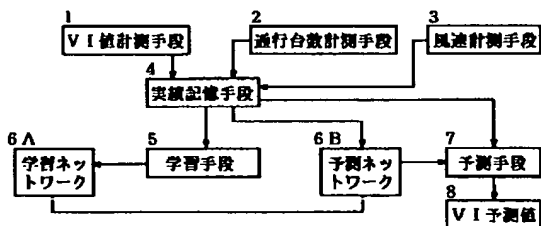
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空気汚染度予測装置

(57)【要約】

【目的】 トンネル内等の空気汚染度の予測精度を向上させる。

【構成】 空気汚染度を計測する手段 1、空気汚染度に影響する状況値を計測する手段 2、3、前記汚染度及び状況値を実績値として記憶する手段 4、入力層、中間層、文脈層、出力層からなる一組のリカレント型ネットワーク 6 A、6 B、経時的に記憶された実績値との間の誤差が小さくなるようにリカレント型ネットワーク 6 A を用いて経時的にネットワークの重みを修正することにより状況値と汚染度との関係を学習する手段 5 と、既に学習させた状況値と汚染度との関係に基づき、リカレント型ネットワーク 6 B を用いて任意の時間における汚染度を予測する手段 7 とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 空気汚染度を計測する手段と、空気汚染度に影響する状況値を計測する手段と、前記汚染度及び状況値を実績値として記憶する手段と、入力層、中間層、文脈層及び出力層からなる単一のリカレント型ネットワークと、経時的に記憶された前記実績値との間の誤差が小さくなるようにリカレント型ネットワークを用いて経時的にネットワークの重みを修正することにより前記状況値と汚染度との関係を学習する手段と、既に学習させた前記状況値と汚染度との関係に基づき、リカレント型ネットワークを用いて任意の時間における汚染度を予測する手段とを備えたことを特徴とする空気汚染度予測装置。

【請求項2】 空気汚染度を計測する手段と、空気汚染度に影響する状況値を計測する手段と、前記汚染度及び状況値を実績値として記憶する手段と、入力層、中間層、文脈層及び出力層からなり、かつ、空気汚染度に影響する条件別に設けた複数のリカレント型ネットワークと、経時的に記憶された前記実績値との間の誤差が小さくなるように前記条件に応じて選択されたリカレント型ネットワークを用いて経時的にネットワークの重みを修正することにより前記状況値と汚染度との関係を学習する手段と、既に学習させた前記状況値と汚染度との関係に基づき、前記条件に応じて選択されたリカレント型ネットワークを用いて任意の時間における汚染度を予測する手段とを備えたことを特徴とする空気汚染度予測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、トンネル等の内部を適切なタイミングで換気するためにリカレント型ネットワークを利用して空気の汚染度を予測する空気汚染度予測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】トンネル内の換気制御は、視界の確保による安全性の向上、ドライバーにとっての快適性の向上等の観点から極めて重要な問題となっている。この換気制御方式としては、従来より種々の方式が提供されており、フィードバック制御、評価関数を導入したレギュレータ制御、予測制御、ファジィ理論応用制御等が試みられている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】ここで、道路トンネル換気系は、一般に非線形性が強く遅れ要素の大きい分布定数系である。このため、空気の汚染度を示す代表的な指標である煙霧透過率（以下、VI値という）には過去の長い時間の状況が影響しており、これを数式モデルによって表すことができず、制御の結果であるVI値を予測してその範囲の妥当性を確認することは困難であるという問題があった。

【0004】本発明は上記問題点を解決するためになされたもので、その目的とするところは、VI値を始めとする空気汚染度の予測を精度良く行い、状況に応じた適切な換気を可能とする空気汚染度予測装置を提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は、リカレント型ネットワークが時間的順序関係を学習できる性質に着目してなされたものである。すなわち、第1の発明は、空気汚染度を計測する手段と、空気汚染度に影響する状況値を計測する手段と、前記汚染度及び状況値を実績値として記憶する手段と、入力層、中間層、文脈層及び出力層からなる単一のリカレント型ネットワークと、経時的に記憶された前記実績値との間の誤差が小さくなるようにリカレント型ネットワークを用いて経時的にネットワークの重みを修正することにより前記状況値と汚染度との関係を学習する手段と、既に学習させた前記状況値と汚染度との関係に基づき、リカレント型ネットワークを用いて任意の時間における汚染度を予測する手段とを備えたものである。

【0006】第2の発明は、空気汚染度を計測する手段と、空気汚染度に影響する状況値を計測する手段と、前記汚染度及び状況値を実績値として記憶する手段と、入力層、中間層、文脈層及び出力層からなり、かつ、空気汚染度に影響する条件別に設けた複数のリカレント型ネットワークと、経時的に記憶された前記実績値との間の誤差が小さくなるように前記条件に応じて選択されたリカレント型ネットワークを用いて経時的にネットワークの重みを修正することにより前記状況値と汚染度との関係を学習する手段と、既に学習させた前記状況値と汚染度との関係に基づき、前記条件に応じて選択されたリカレント型ネットワークを用いて任意の時間における汚染度を予測する手段とを備えたものである。

## 【0007】

【作用】トンネル等の内部空気の汚染には、風速や車両通行台数など、様々な過去の要因が関係しており、この関係を学習させるために、本発明ではリカレント型ネットワークを用いこととした。

【0008】リカレント型ネットワークは、入力層、一つ以上の中間層、出力層からなる階層構造のほかに、文脈層を有するネットワークである。この文脈層には過去の経歴が保持されているため、時間的な順序関係を学習することができる。リカレント型ネットワークには幾つかの種類があるが、代表的なのはElmanのネットワークであり、これは中間層が1層で、文脈層のユニット数が中間層のユニット数に等しく、文脈層から中間層への結合を有するネットワークである。

【0009】本発明における時間的な順序関係の学習は次のようにして行う。まず、時間 $t = 1, 2, \dots, T$ において、空気汚染度に影響する状況値として風速 $W$

3

(t)、車両の通行台数 $C(t)$ が、また、空気汚染度を表す指標として $VI$ 値 $V(t)$ が各々実績値として記憶されているものとする。

①文脈層の値を0に設定する。 $t=1$ として風速 $W(1)$ 及び通行台数 $C(1)$ を入力層に入力し、出力値を得る。実績の $VI$ 値 $V(1)$ との間の誤差を小さくするように、逆伝搬法を用いて出力層から入力層に向い逆方向にたどりながらネットワークの重みの修正を行う。

【0010】②上記①における中間層の値を文脈層にコピーしておき、 $t=2$ として風速 $W(2)$ 及び通行台数 $C(2)$ を入力層に入力し、出力値を得る。実績の $VI$ 値 $V(2)$ との間の誤差を小さくするように、逆伝搬法を用いてネットワークの重みの修正を行う。

③上記②と同様に $t=3, 4, \dots, T$ と順次繰り返し、逆伝搬法を用いてネットワークの重みの修正を行う。

【0011】④全体の誤差が所定の値よりも小さいかを判断し、小さければそこで学習を終了するが、そうでないときには①に戻り、学習を継続する。

⑤学習が終了した時点では、ネットワークに学習させた風速、通行台数、 $VI$ 値の時間的関係が記憶されている。

【0012】従って、 $t=n$ における $VI$ 値 $V(n)$ を求めるには、次の手順により行う。

A) 文脈層の値を0に設定する。 $t=1$ として風速 $W(1)$ 及び通行台数 $C(1)$ を入力層に入力する。

B) 上記A)における中間層の値を文脈層にコピーしておき、 $t=2$ として風速 $W(2)$ 及び通行台数 $C(2)$ を入力層に入力する。

C) 同様にして、 $t=3, 4, \dots, T$ と順次繰り返すと、 $t=n$ における出力値は $V(n)$ であり、任意の時刻 $n$ における $VI$ 予測値 $V(n)$ が求められる。

【0013】本発明では、前述のごとくリカレント型ネットワークに状況値と空気汚染度との関係を学習させている。第1及び第2の発明において、汚染度を予測するときには、学習させたのとまったく同じ状況になることはないが、ニューラルネットは汎化能力を有しており、学習した状況に類似していれば近い汚染度を予測することができる。特に、請求項2に記載した第2の発明では、複数のリカレント型ネットワークに条件別に学習させているので、予測時にはそのときの条件に応じて最も適したネットワークを選択してその値を出力値として採用することにより、予測精度を一層高めることができる。

【0014】

【実施例】以下、図に沿って本発明の実施例を説明する。まず、図1は第1の発明の実施例の装置構成を示すもので、ネットワークを1個としたものである。図1において、トンネル内の空気汚染度を表す指標としての $VI$ 値を計測する $VI$ 値計測手段1と、空気汚染度に影響

4

する状況値としての車両の通行量を計測する通行台数計測手段2と、同じくトンネル内の風速を計測する風速計測手段3とを用いて、トンネル内の空気汚染度及びそれに影響する状況値を経時的に計測しておく。これらの収集データは、実績値として実績記憶手段4に記憶しておく。

【0015】学習手段5は、後に詳述するように、学習ネットワーク6Aに、上記実績値を用いて通行台数、風速及び $VI$ 値の関係を $VI$ 値の誤差が十分に小さくなるまで学習させる。予測手段7は、既に学習が終了した予測ネットワーク6Bを用いて、次の $VI$ 値の予測を行い、空気汚染度を示す $VI$ 予測値8を得る。ここで、予測ネットワーク6Bの内容は、学習ネットワーク6Aから一定時間ごとにコピーされるものであるため、実質的に両者の内容は同一であり、単一のネットワークとすることが出来る。但し、学習の結果、間違ったデータが記憶されている可能性もあるので、予測ネットワーク6Bにコピーする前に人間がチェックするようにしても良い。

【0016】次に、図2は第2の発明の実施例の装置構成を示している。この実施例は、ネットワークに学習させる実績値を、昼で晴、昼で雨、夜の3種類に区分し、これらの時間や天候の異なる条件について各々別のネットワークに学習させるものである。図示するようにこの実施例では、図1の実施例と異なり、空気の汚染度を表す指標として $VI$ 値ではなく、 $CO$ 値（一酸化炭素濃度）を用いているが、他の指標を用いたり、あるいは他の指標、例えば $VI$ 値等を併用することも可能である。

【0017】状況値としては通行台数予測手段12により予測した通行台数、気圧計測手段13により計測した気圧が用いられており、これらと $CO$ 値計測手段11により計測される上記 $CO$ 値とが実績値として実績記憶手段14に記憶される。なお、上記状況値についても他の種類の値を用いることができる。

【0018】学習手段15は、実績値の条件に応じた学習ネットワークを161A、162A、163Aの中から学習ネットワーク選択手段19により選択し、予測手段17では、予測ネットワーク161B、162B、163Bの中から現在の時間や天候の条件に最も良く合ったものを予測ネットワーク選択手段20により選択してその出力値を空気汚染度を示す $CO$ 予測値18とする。予測ネットワーク161B、162B、163Bの内容が、学習ネットワーク161A、162A、163Aを各々一定時間ごとにコピーしたものであるのは図1の実施例と同様である。

【0019】上記各実施例に用いられるリカレント型ネットワークの概略的な構成を図3に示す。このネットワークは、入力層31、中間層32、出力層33からなる階層構造の他に、文脈層34を有している。中間層32は1層であり、文脈層34のユニット数（ニューロン

5

数)は中間層32のユニット数に等しく、文脈層34から中間層32への結合が存在する。ここでは、中間層32が1層の場合を示しているが2層以上であっても差し支えなく、これに応じて文脈層34も2層以上になっても良い。

【0020】このリカレント型ネットワークの具体的な構成を図4に示す。入力層31には、現在通行中の大型車台数、 $\Delta t$ 後に通行が予測される大型車台数、車道風速、自然風速、ジェットファン運転台数、集塵機運転率、現在のVI値が入力されるため、計7ユニットを持つ。この入力層31に接続される中間層32は計10ユニットを持ち、文脈層34も同じく計10ユニットを持つ。中間層32に接続される出力層33は、 $\Delta t$ 後のVI予測値に対応する1ユニットのみを有する。

【0021】上記リカレント型ネットワークによる学習のフローチャートを図5に示す。時間 $t=1, 2, \dots, T$ までの、大型車台数 $L(t)$ 、車道風速 $W_r(t)$ 、自然風速 $W_n(t)$ 、ジェットファン運転台数 $J(t)$ 、集塵機運転率 $D(t)$ 、VI値 $V(t)$ 、及び、時間 $t=T+1$ における大型車台数 $L(T+1)$ 、VI値 $V(T+1)$ が実績値として記憶されているものとする。ここでは、時間の単位(時間間隔 $\Delta t$ )を5分とする。

【0022】図5において、文脈層34の値を0に設定し、 $t=1$ とする(S1)。次に、大型車台数 $L(t)$ 、 $L(t+1)$ 、車道風速 $W_r(t)$ 、自然風速 $W_n(t)$ 、ジェットファン運転台数 $J(t)$ 、集塵機運転率 $D(t)$ 、VI値 $V(t)$ を入力層31に入力し、出力層33から出力値を得る。実績値であるVI値 $V(t+1)$ との間の出力誤差が小さくなるように逆伝搬法を用いてネットワークの重みの修正を行う(S2)。

【0023】次いで、上記ステップS2における中間層32の値を文脈層34にコピーする(S3)。上記処理を $t=T$ になるまで繰返す。すなわち、 $t=T$ になったら次のステップS5へ移行し、そうでなければ $t$ を1増やしてステップS2へ戻る(S4)。全体の誤差の評価値が所定の値よりも小さいか否かを判断し、小さければそこで学習を終了する。そうでなければステップS1に戻り、学習を継続する(S5)。

【0024】こうして学習が終了した時点では、学習ネットワークに学習させた風速、大型車通行台数、VI値の時間的関係が記憶されている。

【0025】次に、上記リカレント型ネットワークによるVI値予測のフローチャートを図6に示す。時間 $t=1, 2, \dots, n$ までの、大型車台数 $L(t)$ 、車道風速 $W_r(t)$ 、自然風速 $W_n(t)$ 、ジェットファン運転台数 $J(t)$ 、集塵機運転率 $D(t)$ 、VI値 $V(t)$ が実績値として記憶されており、かつ、時間 $t=n+1$ における大型車台数 $L(n+1)$ が予測値として判明しているものとする。

【0026】図6において、文脈層34の値を0に設定

6

し、 $t=1$ とする(S11)。次に、大型車台数 $L(t)$ 、 $L(t+1)$ 、車道風速 $W_r(t)$ 、自然風速 $W_n(t)$ 、ジェットファン運転台数 $J(t)$ 、集塵機運転率 $D(t)$ 、VI値 $V(t)$ を入力層31に入力し、出力層33から出力値を得る(S12)。

【0027】次いで、上記ステップS12における中間層32の値を文脈層34にコピーする(S13)。上記処理を $t=n$ になるまで繰返す。すなわち、 $t=n$ になったら次のステップS15へ移行し、そうでなければ $t$ を1増やしてステップS12へ戻る(S14)。この時の出力値が、任意の時間 $t=n$ における空気汚染度としてのVI予測値 $V(n+1)$ となる(S15)。

【0028】次に、 $t=n+1$ で予測を行う場合には、 $t=n$ におけるネットワークの状態を保存しておくことにより、 $t=1$ から $n$ までの繰返し計算を省略することができ、ステップS12から直ちにステップS15へ移行することによって連続的にVI値を予測することが可能である。

【0029】

【発明の効果】以上のように第1または第2の発明は、リカレント型ネットワークを用いて空気汚染度とこれに影響する状況値との経時的な関係を学習させ、その学習結果により任意の時間の空気汚染度を予測するものである。

【0030】このため、実績のVI値等に過去の時間の影響が現われている場合でもそれらを反映させた高精度な汚染度の予測が可能であり、トンネル等の内部の換気を一層適切かつ効率的に行うことができる。また、本発明は、状況値の種類が特に限定されるものではないから、トンネル内空気の汚染度予測ばかりでなく、定期的な換気が必要とされる各種設備内の汚染度予測に適用可能である。

【0031】特に、第2の発明では、時間や天候等の条件に応じた学習及び予測により、予測精度を一層向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の発明の実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】第2の発明の実施例の構成を示すブロック図である。

【図3】各実施例に用いられるリカレント型ネットワークの概略的な構成を示す図である。

【図4】各実施例に用いられるリカレント型ネットワークの具体的な構成を示す図である。

【図5】各実施例のリカレント型ネットワークによる学習のフローチャートである。

【図6】各実施例のリカレント型ネットワークによる予測のフローチャートである。

【符号の説明】

1 VI値計測手段

7

8

2 通行台数計測手段

3 風速計測手段

4, 14 実績記憶手段

5, 15 学習手段

6A, 161A, 162A, 163A 学習ネットワーク

6B, 161B, 162B, 163B 予測ネットワーク

7, 17 予測手段

8 VI予測値

11 CO値計測手段

12 通行台数予測手段

13 気圧計測手段

18 CO予測値

19 学習ネットワーク選択手段

20 予測ネットワーク選択手段

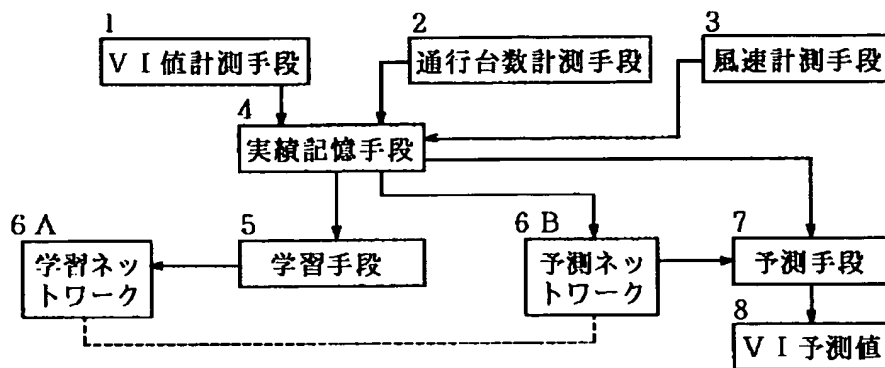
31 入力層

32 中間層

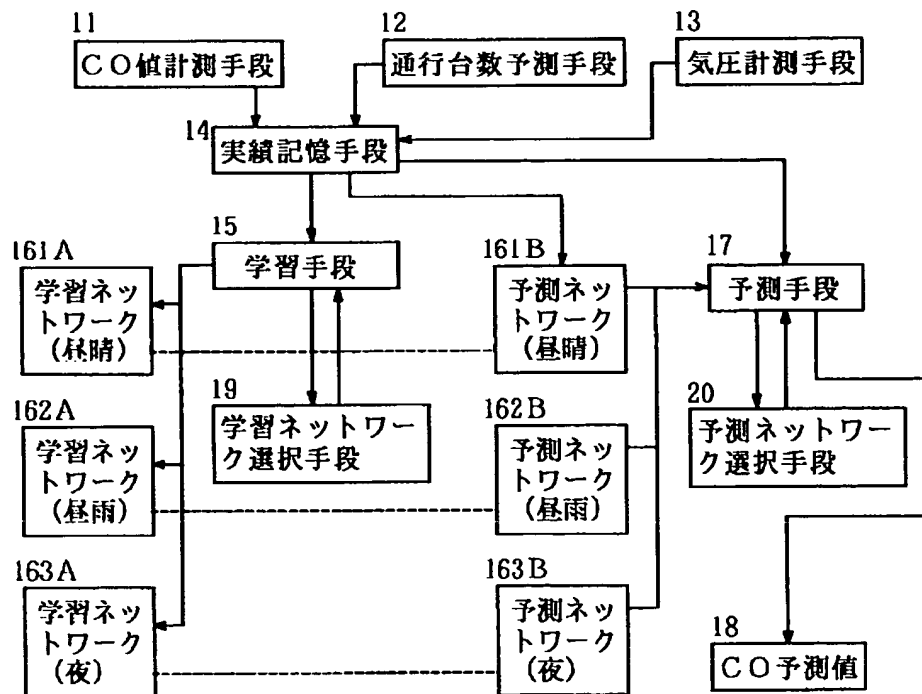
33 出力層

10 34 文脈層

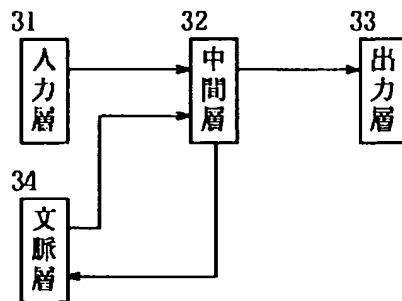
【図1】



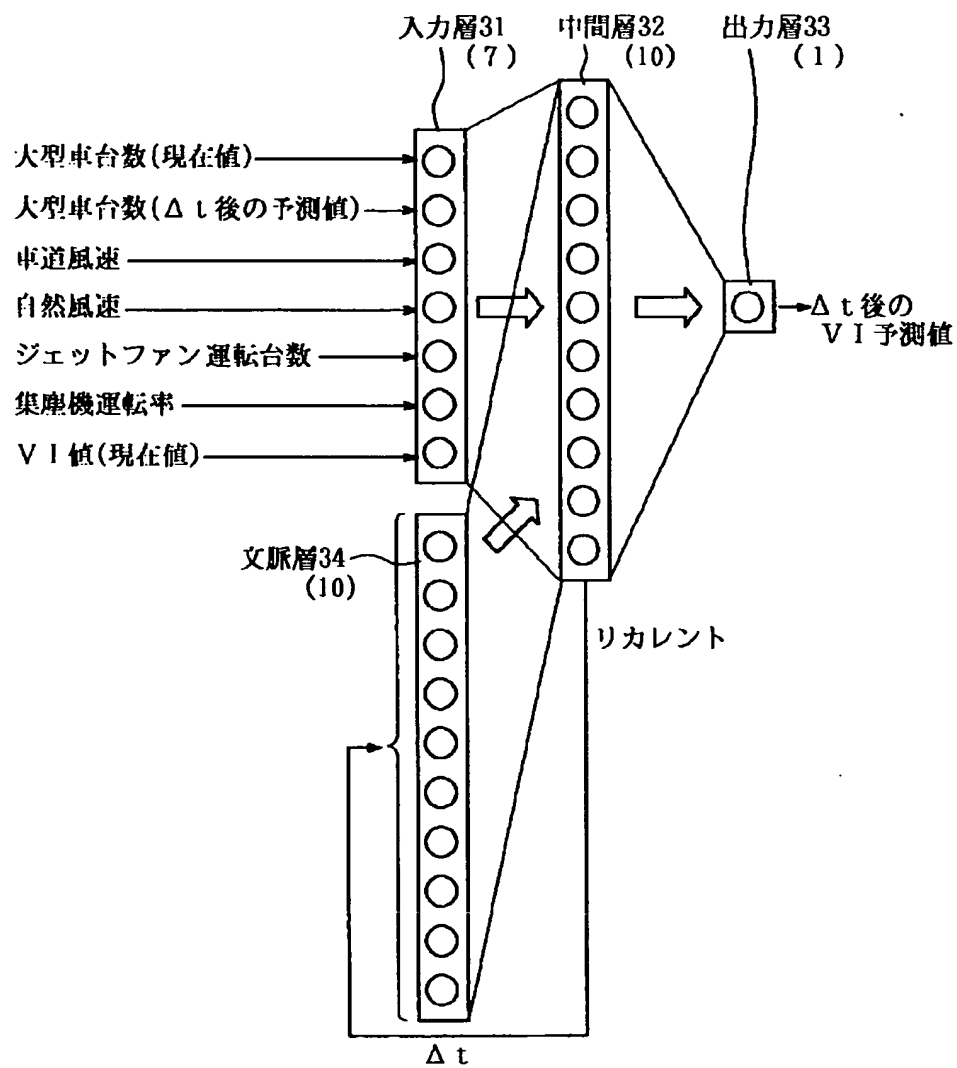
【図2】



【図3】

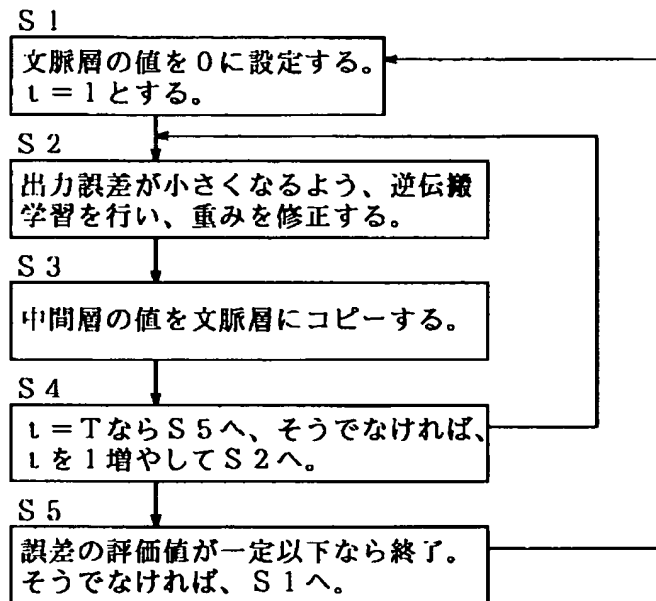


【図4】

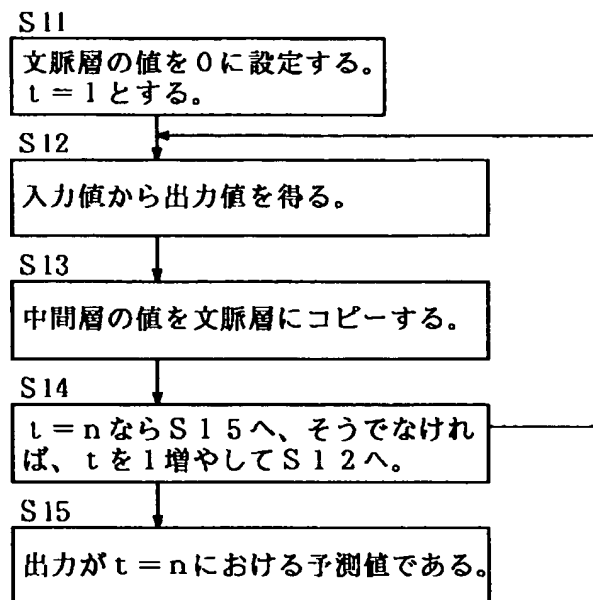




【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 新貝 和照  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
富士電機株式会社内

(72)発明者 小野 和夫  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
富士電機株式会社内